

**“INVESTIGASI *INTERNAL CORROSION* PADA PIPA AIR  
*HEATER BOILER* OSRO DI PABRIK GULA PAGOTAN  
MADIUN PT. PERKEBUNAN NUSANTARA XI”**  
**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Jenjang Strata (S1)

Pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Ponorogo



**FAHRUDIN KURNIAWAN**

16511099

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONOROGO**

**2020**

## HALAMAN PENGESAHAN

Nama : Fahrudin Kurniawan  
NIM : 16511099  
Program Studi : Mesin  
Fakultas : Teknik  
Judul Skripsi : "Investigasi Internal Corrosion Terhadap Pipa Air Heater di Boiler Pabrik Gula Pagotan Madiun PT. Perkebunan Nusantara XI"

Isi dan formatnya telah disetujui dan dinyatakan memenuhi syarat  
Untuk melengkapi persyaratan guna memperoleh Gelar Sarjana  
Pada Program Studi Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Ponorogo

Ponorogo, 7 Juli 2020

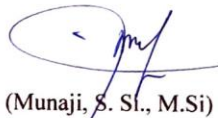
### Menyetujui

Dosen Pembimbing 1



(Wawan Trisnadi Putra, S.T., M.T)  
NIK. 19800220 201309 13

Dosen Pembimbing 2



(Munaji, S. Si., M.Si)  
NIK. 19840805 201309 13

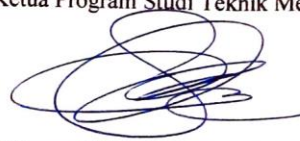
### Mengetahui

Dekan Fakultas/Teknik



(Dr. Ir. Aliyadi, M.M., M.Kom)  
NIK. 19640103 19900912

Ketua Program Studi Teknik Mesin



(Wawan Trisnadi Putra, S.T., M.T)  
NIK. 19800220 201309 13

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

N a m a : Fahrudin Kurniawan

N I M : 16511099

Program Studi : Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul: “Investigasi Internal Corrosion Terhadap Pipa Air Heater di Boiler Pabrik Gula Pagotan Madiun PT. Perkebunan Nusantara XI” bahwa berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang saya rancang/teliti di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiatisme, saya bersedia Ijazah saya dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Ponorogo, 7 Juli 2020

Mahasiswa,




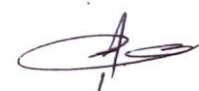




Fahrudin Kurniawan

NIM. 16511099

**BERITA ACARA  
BIMBINGAN SKRIPSI**

1. Nama : Fahrudin Kurniawan
2. NIM : 16511099
3. Program Studi : Teknik Mesin
4. Fakultas : Teknik
- Judul Skripsi : "Investigasi Internal Corrosion Terhadap Pipa Air Heater di Boiler Pabrik Gula Pagotan Madiun PT. Perkebunan Nusantara XI"
5. Dosen Pembimbing I : Wawan Trisnadi Putra, S.T, M.T.
6. Konsultasi :

NO	TANGGAL	URAIAN	TANDA-TANGAN
1	26-04-2019	Konsultasi Judul	
2	30-04-2019	Pembahasan Proposal Kori	
3	14-05-2019	Rencana penelitian	
4	18-11-2019	Konsultasi bab 1-3 Revisi format	
5	9-05-2020	Konsultasi Skripsi ACC bab 4 dan 5	
6	7-07-2020	ACC Sidang Skripsi	

7. Tgl. Pengajuan :
8. Tgl. Pengesahan :









Ponorogo, 7 Juli 2020  
Pembimbing,



(Wawan Trisnadi Putra, S.T., M.T)  
NIK. 19800220 201309 13

**BERITA ACARA  
BIMBINGAN SKRIPSI**

1. Nama : Fahrudin Kurniawan
2. NIM : 16511099
3. Program Studi : Teknik Mesin
4. Fakultas : Teknik
- Judul Skripsi : "Investigasi Internal Corrosion Terhadap Pipa Air Heater di Boiler Pabrik Gula Pagotan Madiun PT. Perkebunan Nusantara XI"
5. Dosen Pembimbing II : Munaji, S. Si., M.Si
6. Konsultasi :

NO.	TANGGAL	URAIAN	TANDA-TANGAN
1.	26-04-2019	Diskusikan tema penelitian	
2.	14-05-2019	Ace tema dan judul	
3.	11-11-2019	Proposal: Revisi Bab I	
4.	25-11-2019	Proposal: Revisi Bab II	
5.	28-11-2019	Proposal: Revisi Bab III	
6.	08-02-2020	Diskusikan revisi pasca Seminar Proposal	
7.	03-06-2020	Diskusikan Bab IV, Revisi Bab V	
8.	17-06-2020	Ace uraian akhir	

7. Tgl. Pengajuan :
8. Tgl. Pengesahan :

Ponorogo, 7 Juli 2020  
Pembimbing,




(Munaji, S. Si., M.Si)  
NIK. 19840805 201309 13

## HALAMAN BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI

Nama : Fahrudin Kurniawan  
NIM : 16511099  
Program Studi : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Judul Skripsi : "Investigasi Internal Corrosion Terhadap Pipa Air Heater di Boiler Pabrik Gula Pagotan Madiun PT. Perkebunan Nusantara XI"

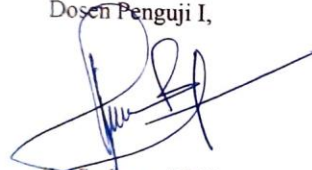
Telah diuji dan dipertahankan dihadapan

Dosen penguji tugas akhir jenjang strata Satu (S1) pada:


Hari : Selasa  
Tanggal : 18 Agustus 2020  
Nilai : 

Dosen Penguji

Dosen Penguji I,

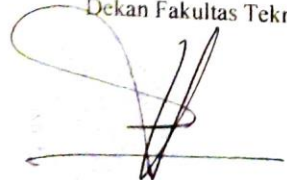
  
(Ir. Sudarno, M.T.)  
NIK. 19680705 199904 11

Dosen Penguji II,


  
(Ir. Fadelan, M.T.)  
NIK. 19610509 199009 12

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik,

  
(Dr. Ir. Aliyadi, M.M, M. Kom)  
NIK. 196401103 199099 12

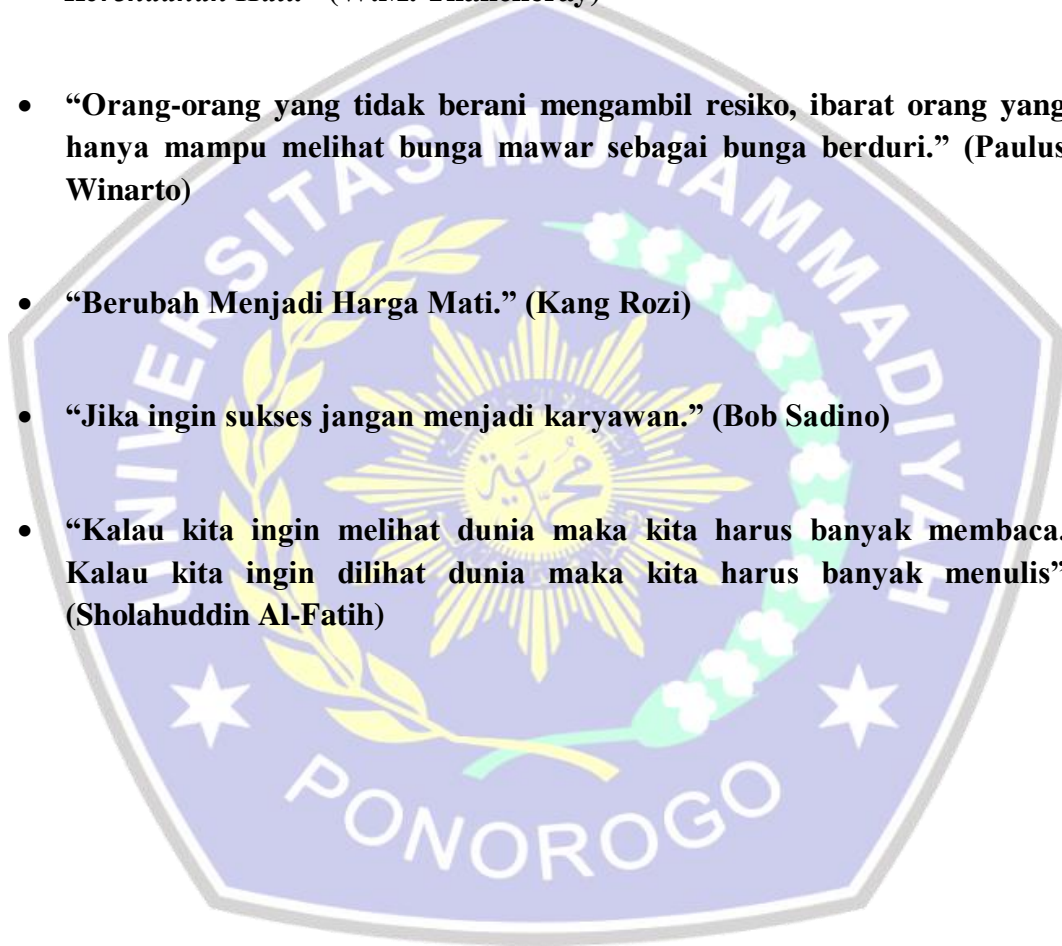
Ketua Program Studi Teknik Mesin,

  
(Wawan Trisnadi Putra, S.T, M.T.)  
NIK. 19800220 201309 13



## MOTTO

- *“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan maka, apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan) kerjakanlah dengan sungguh-sungguhnya (urusan) yang lain. Dan hanya berharap kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berhara.”* (Al Qur'an : Alam Nasyarah ayat 6-8)
- *“Kebahagiaan Hidup Yang Sebenarnya Adalah Hidup Dengan Kerendahan Hati.”* (W.M. Thancheray)
- **“Orang-orang yang tidak berani mengambil resiko, ibarat orang yang hanya mampu melihat bunga mawar sebagai bunga berduri.”** (Paulus Winarto)
- **“Berubah Menjadi Harga Mati.”** (Kang Rozi)
- **“Jika ingin sukses jangan menjadi karyawan.”** (Bob Sadino)
- **“Kalau kita ingin melihat dunia maka kita harus banyak membaca. Kalau kita ingin dilihat dunia maka kita harus banyak menulis”** (Sholahuddin Al-Fatih)



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

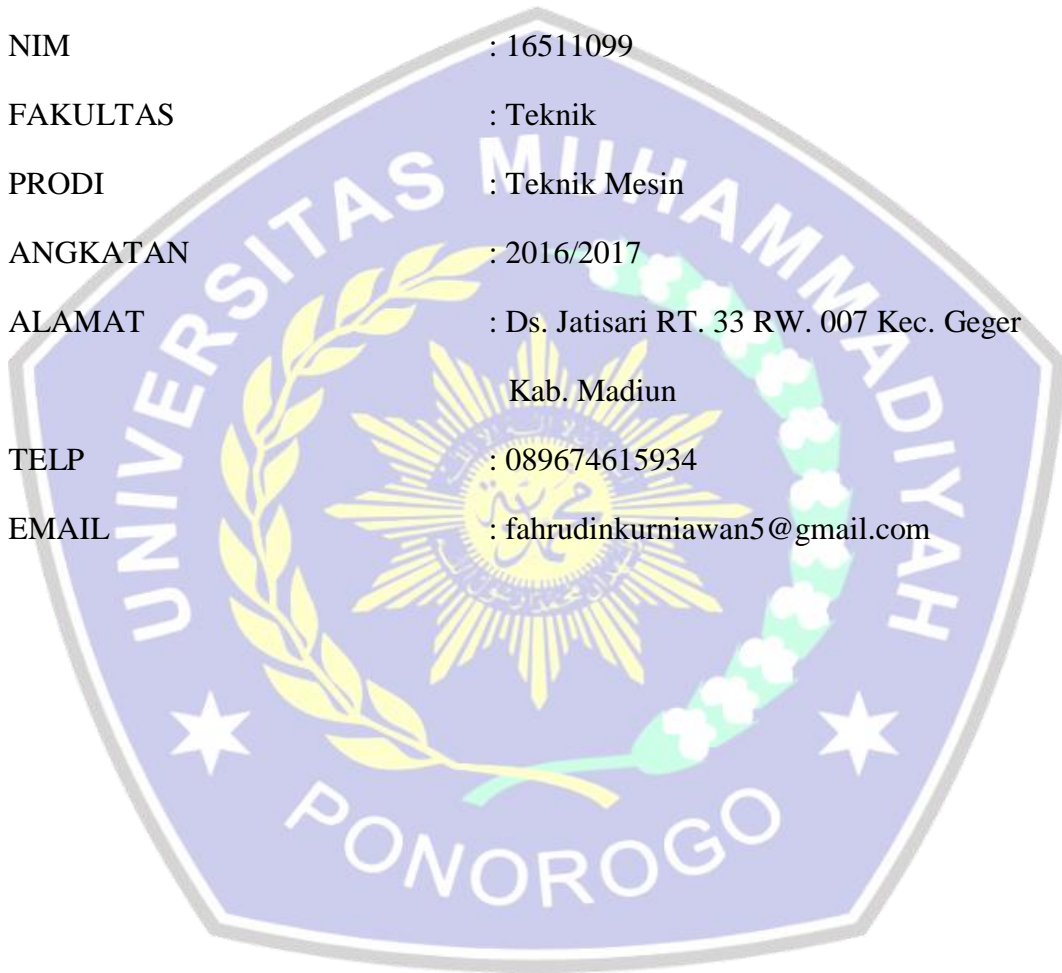
Dengan rahmat Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang dengan ini saya mempersembahkan Skripsi ini untuk:

1. Alloh SWT, kusembahkan kepadamu Tuhan yang Maha Agung, Maha Pengasih lagi Maha Penyayang atas takdir-Mu kaujadikan hambamu ini manusia yang senantiasa berfikir, ber ilmu, beriman dan bersabar dalam menjalani setiap rintangan di kehidupan ini. Terimakasih Tuhan engkau telah memberi kesempatan untuk melewati suatu kehidupan dengan cara seperti ini.
2. Kupersembahkan kepada kedua Orang tuaku Bapak ku Khoiril Anam dan Ibu ku Yeni Puji Astuti terima kasih telah mendidikku dari awal aku kecil hingga seperti ini, maafkan anakmu ini yang belum bisa membahagiakanmu.
3. Adikku tercinta Intan Okta Ramadhani yang telah memberikan semangat tanpa henti agar skripsi ini dapat terselesaikan.
4. Bapak Wawan Trisnadi Putra, S.T., M.T dan Bapak Munaji, S. Si., M. Si selaku dosen pembimbing I dan II yang selalu sabar menghadapi konsultasi saya yang lemot, selalu memberi saran, masukan dan motivasi dalam mengerjakan penelitian ini.
5. Segenap staff pengajar, asisten dosen dan keluarga besar UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONOROGO yang telah membantu dalam penelitian ini
6. Teman-teman Himpunan Mahasiswa Mesin periode 2017/2018
7. Teman-teman Teknik Mesin Kelas C 2016
8. Teman-teman magang Agos, Giwang, Salas dan Reza
9. Teman-teman KKN PPM Desa Patik, Kec Pulung Kabupaten Ponorogo 2019
10. Teman-teman karang taruna new Akvista Dukuh Klotok
11. Dan seluruh teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2016



## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

NAMA LENGKAP : Fahrudin Kurniawan  
TEMPAT, TANGGAL LAHIR : Madiun, 17 Mei 1997  
NIK : 35190317059970001  
JENIS KELAMIN : Laki-Laki  
NIM : 16511099  
FAKULTAS : Teknik  
PRODI : Teknik Mesin  
ANGKATAN : 2016/2017  
ALAMAT : Ds. Jatisari RT. 33 RW. 007 Kec. Geger  
Kab. Madiun  
TELP : 089674615934  
EMAIL : fahrudinkurniawan5@gmail.com



# **INVESTIGASI INTERNAL CORROSION TERHADAP PIPA AIR HEATER DI BOILER PABRIK GULA PAGOTAN MADIUN PT. PERKEBUNAN NUSANTARA XI**

Fahrudin Kurniawan, Wawan Trisnadi Putra, S.T., M.T, Munaji, S. Si., M.Si.

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Ponorogo

e-mail : fahrudinkurniawan5@gmail.com

---

## **ABSTRAK**

Setelah dilakukan penelitian di unit *air heater* menggunakan material pipa baja karbon rendah atau pipa gas *blacksteel* di pabrik gula pagotan untuk mengetahui penyebab dan laju korosi menggunakan 3 pengujian. Pertama *ultrasonic thickness* untuk mengetahui ketebalan pipa A, B, dan C lalu menghitung laju korosi dan analisa sisa umur pakai, kedua Mikroskop Stereo dilakukan dengan memfoto bentuk permukaan pipa A, B, dan C untuk mengetahui bentuk korosi permukaan pipa, dan ketiga *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk mengetahui senyawa pipa yang terkorosi dengan mengkorelasikan unsur kimia pipa dan gas asap dengan hasil pengujian XRD. Hasil pengujian ketebalan pipa adalah terjadi penambahan ketebalan di Pipa B sebesar 0,12 mm di titik P2, 0,1 di titik P3 dan 0,07 mm di titik P4 serta terjadi degradasi material di pipa C yang paling buruk di titik P3 sebesar 1,72 mm berdasarkan hasil pengujian *Thickness*. Kemudian hasil pengujian mikroskop stereo adalah pada pipa A atau baru sudah muncul korosi, kemudian di pipa B sudah terjadi korosi merata di permukaan pipa, dan pada pipa C permukaan pipa berongga dan terkelupas menunjukkan korosi sudah merata dan parah. Selanjutnya pada pengujian XRD menunjukkan senyawa  $\text{FeO}(\text{OH}_3)$  atau Besi (III) sesuai Unsur kimia pipa dan Unsur kimia Gas Asap.

Kata Kunci : *air heater*, korosi, *pipa*,

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Sholawat serta salam semoga senantiasa terlimpah curahkan kepada Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, beserta para sahabatnya, hingga kepada umatnya hingga akhir zaman, Amiin.

Penulis Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Ponorogo. Judul yang penulis ajukan adalah “Investigasi *Internal Corrosion* terhadap pipa *air heater* di *boiler* pabrik gula pagotan madiun PT. Perkebunan Nusantara XI”

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis dengan senang hati menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat

1. Bapak Drs. H. Sulton, MSi selaku rektor Universitas Muhammadiyah Ponorogo.
2. Bapak Dr. Aliyadi, MM, M Kom dan Bapak Ir.Sudarno,M.T selaku Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Ponorogo yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melanjutkan studi di jurusan teknik mesin.
3. Bapak Wawan Trisnadi Putra, S.T, M.T. selaku ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Ponorogo dan selaku dosen pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan, motivasi dan memberikan arahan pada penulis.
4. Bapak Munaji, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan, motivasi dan memberikan arahan pada penulis.
5. Dosen-dosen Program studi Teknik Mesin.
6. Ibu, Bapak, Adik, tercinta yang telah memberi dorongan materi maupun spiritual sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

7. Jajaran PG Jatiroto Lumajang yang telah memberi ilmu seputar Mesin Produksi gula pada saat magang dan sebagai sarana munculnya ide penelitian ini.
8. Jajaran PT. Perkebunan Nusantara XI Surabaya yang telah memberikan izin penelitian dan arahan.
9. Bapak Ir. Subagio selaku General Manager yang telah memberi izin untuk pengambilan data di PG Pagotan Madiun.
10. Bapak Fandi Fitriyanto, S.T selaku Manager Teknik PG Pagotan Madiun yang memberikan masukan kepada penulis.
11. Bapak Kurniawan Eko Saputro, S.T selaku Asisten Manager Teknik PG Pagotan Madiun yang juga memberikan masukan kepada penulis.
12. Bapak Nurhadi S. Nugroho, S.T selaku Kasi *Boiler* PG Pagotan Madiun yang mengarahkan pengambilan data.
13. Bapak Wakid Nurfa'i, S.T Divisi Teknik PG Pagotan yang telah memberi dorongan dan masukkan kepada penulis
14. Segenap karyawan Instalasi Ketel/*Boiler* PG Pagotan Madiun yang telah memberi informasi dan membantu pengambilan data.
15. Bapak Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc Selaku Kepala Laboratorium Kegagalan Material Teknik Metalurgi dan Material ITS Surabaya yang telah memberi kritik dan saran pada rencana penelitian saya.
16. Bapak Dr. Eng. Hosta Ardhyananta. S.T., M.Sc Selaku Sekretaris Departemen 1 Teknik Metalurgi dan Material ITS Surabaya yang telah membantu pengambilan data dan memberikan masukan kepada penulis.
17. Bu Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si selaku Kepala Divisi Karakterisasi Material Teknik Metalurgi dan Material ITS Surabaya dan Asistennya.
18. Bapak Lukman Noerochim, Ph.D. selaku Dosen Pascasarjana Teknik Metalurgi dan Material ITS Surabaya yang telah memberi dorongan dan masukan kepada penulis.
19. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc selaku Kepala Laboratorium Mekanik Teknik Metalurgi dan Material ITS Surabaya dan Asistennya yang telah membantu pengambilan data.



20. Sahabat dan rekan-rekan mahasiswa serta semua pihak yang telah memberikan bantuan, motivasi dan semangat. sampai selesainya skripsi ini.

Kepada Allah SWT, penulis memohon semoga apa yang penulis peroleh, mendapat ridho-Nya dan menjadi ilmu yang bermanfaat dan berkah Amiin. Penulis menyadari skripsi ini banyak kekurangan oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Akhir kata penulis mohon maaf apabila selama penyajian skripsi ini terdapat kesalahan yang kurang berkenan bagi kita semua.

Ponorogo, 7 Juli 2020

FAHRUDIN KURNIAWAN





## DAFTAR ISI

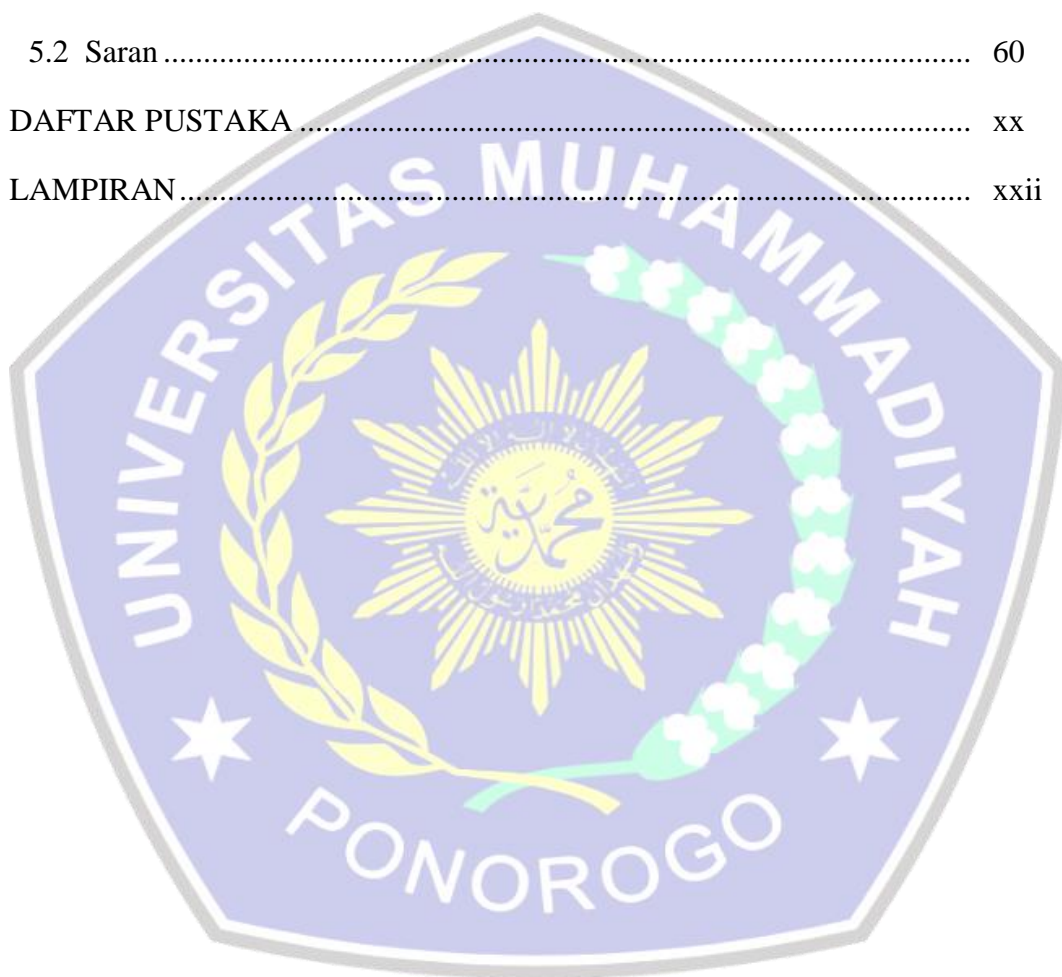
HALAMAN JUDUL. ....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI .....	iii
HALAMAN BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI .....	iv
HALAMAN BERITA ACARA BIMBINGAN SKRIPSI.....	v
MOTTO.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	viii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	ix
ABSTRAK .....	x
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pengertian Ketel Uap ( <i>Boiler</i> ).....	5

2.2 Cara Kerja Ketel Uap ( <i>Boiler</i> ).....	5
2.3 Jenis Ketel Uap ( <i>Boiler</i> ) .....	8
2.4 Pemanas Udara ( <i>Air Preheater</i> ) .....	8
2.5 Pengertian Korosi .....	10
2.6 Faktor yang Mempengaruhi Korosi .....	12
2.7 Mekanisme Korosi .....	16
2.8 Jenis-Jenis Korosi.....	18
2.9 Pengertian pipa.....	26
2.10 Pipa Baja Karbon.....	26
2.11 Laju korosi.....	27
2.12 Ultrasonic thickness gauge .....	27
2.13 Mikroskop Stereo .....	28
2.14 XRD ( <i>X-Ray-Diffraction</i> ).....	28
2.15 Data Produksi Pabrik Gula .....	29
 <b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Metode Analisa .....	30
3.2 Kerangka Pemikiran.....	32
3.3 Tempat Penelitian.....	34
3.4. Teknik Pengumpulan Data .....	34
3.5 Prosedur Pengujian.....	35
3.6 Data Penelitian yang Diperukan.....	40
 <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Pengujian Ketebalan Pipa.....	42

4.2 Penghitungan Laju Korosi.....	44
4.3 Analisa Mikroskopis.....	48
4.4 Pengujian XRD ( <i>X-Ray-Diffraction</i> ).....	54

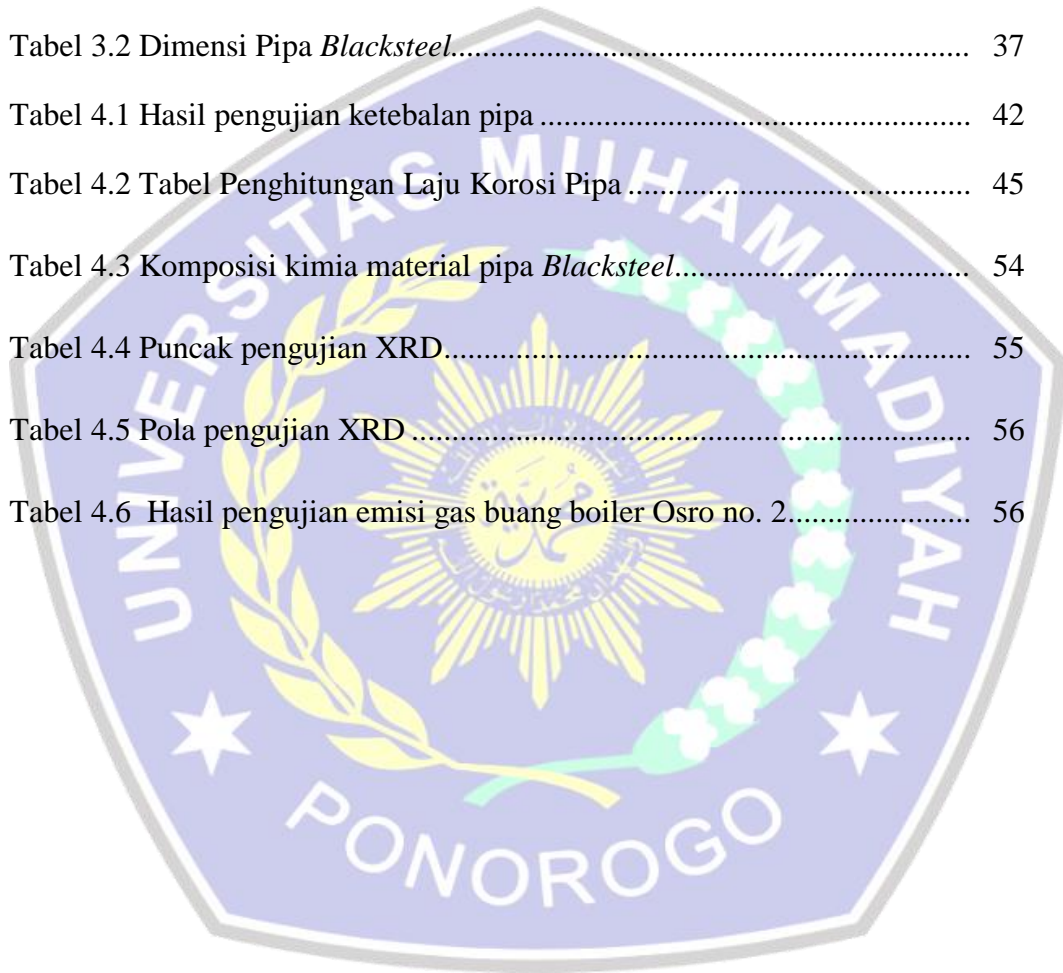
## BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	xx
LAMPIRAN.....	xxii



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kerusakan Material Oleh korosi Merata.....	18
Tabel 2.2 Paduan Zat Penyebab Karat dan Kondisi Lingkungan .....	25
Tabel 2.3 Data Harian Giling Pabrik Gula Pagotan.....	29
Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian.....	35
Tabel 3.2 Dimensi Pipa <i>Blacksteel</i> .....	37
Tabel 4.1 Hasil pengujian ketebalan pipa .....	42
Tabel 4.2 Tabel Penghitungan Laju Korosi Pipa .....	45
Tabel 4.3 Komposisi kimia material pipa <i>Blacksteel</i> .....	54
Tabel 4.4 Puncak pengujian XRD.....	55
Tabel 4.5 Pola pengujian XRD .....	56
Tabel 4.6 Hasil pengujian emisi gas buang boiler Osro no. 2.....	56





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Alir Ketel Uap .....	7
Gambar 2.2 Mekanisme korosi .....	17
Gambar 2.3 Korosi Merata.....	19
Gambar 2.4 Korosi Galvanik .....	19
Gambar 2.5 Korosi Sumuran.....	20
Gambar 2.6 Korosi Celah.....	20
Gambar 2.7 Korosi Retak Tegang.....	21
Gambar 2.8 Korosi Intergranular Pada Pipa .....	22
Gambar 2.9 <i>Selective Leaching</i> Corrosion.....	23
Gambar 2.10 Korosi Atmosfer.....	23
Gambar 2.11 <i>Stress Corrosion Cracking</i> .....	24
Gambar 2.12 Korosi Erosi Pada Pipa.....	25
Gambar 3.1 Flowchart alur rencana Penelitian .....	32
Gambar 3.2 Flowchart pengujian pipa dan persiapannya .....	33
Gambar 3.3 Keterangan sampel penelitian .....	37
Gambar 3.4 Titik pengukuran pada material pipa.....	38
Gambar 3.5 Material Pipa yang akan diuji Mikroskop .....	39
Gambar 3.6 Serbuk produk korosi pada pipa.....	40
Gambar 4.1 Grafik ketebalan Pipa .....	43
Gambar 4.2 Grafik Laju Korosi Pipa .....	46
Gambar 4.3 Hasil pengujian mikroskop stereo pipa A .....	49
Gambar 4.4 Hasil pengujian mikroskop stereo pipa B .....	51
Gambar 4.5 Hasil pengujian mikroskop stereo pipa C .....	53



Gambar 4.6 Hasil grafik Pengujian XRD Pipa terkorosi ..... 55

